

# 염료감응형 태양전지 (dye-sensitized solar cell) 현황

영남대학교 디스플레이화학공학부 김 재 흥

## 1. 서 론

현재 인류는 값싸고 사용하기 편리한 석유를 주 에너지원으로 사용하고 있으나, 석유 매장량의 한계로 그 생산량이 지속적으로 감소하고 있고 50년 이내 고갈의 위기에 있으며 그 가격도 배럴당 200불 수준이 될 것으로 전망하고 있다. 유가 상승의 문제와 함께 대기 오염 물질의 배출과 온실효과로 인한 지구온난화 등에 심각한 문제를 야기하고 있는 실정이다. 이에 따라 1997년 12월 교토의정서를 채택하여 지구온난화의 주요 원인인 이산화탄소 배출량을 규제하고 있으며 우리나라의 경우 2013년부터 이산화탄소 규제 대상국에 포함될 예정이다. 따라서 현재의 에너지 공급원의 다변화 정책이 시급한 실정에 있으며 그 후보로 태양에너지, 풍력 및 수력에너지와 같은 재생에너지에 대한 기술력 확보가 국가적으로도 시급히 해결되어야 할 과제로 부각되고 있다. 태양 전지의 경우 환경오염에 대한 부담이 없으며 무한한 에너지 공급이 이루어질 수 있어 그 관심이 집중되고 있다. 태양전지 제조기술은 태양전지 종류에 따라 실리콘 태양전지와 화합물 반도체 태양전지 등으로 크게 분류할 수 있으며, 현재 상용화되어 시판되고 있는 태양전지는 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지, 비정질 실리콘 태양전지 등으로 태양전지의 에너지변환효율은 단결정 실리콘 태양전지가 18%, 다결정 실리콘 태양전지 15%, 비정질 실리콘 태양전지 10% 정도이다.

다음 그림 1에서는 태양전지의 일반적인 분류표를 나타냈으며 그림 2에서는 기술별로 세계 최대 효율을 기록하고 있는 연구 그룹과 그 효율 및 예상 효율을 표시하였다. 본 보고서에는 태양전지의 종류와 작동원리를 간단히 설명하고 특히, 염료감응형 태양전지에 대한 재료 및 구동원리를 소개하고자 한다.

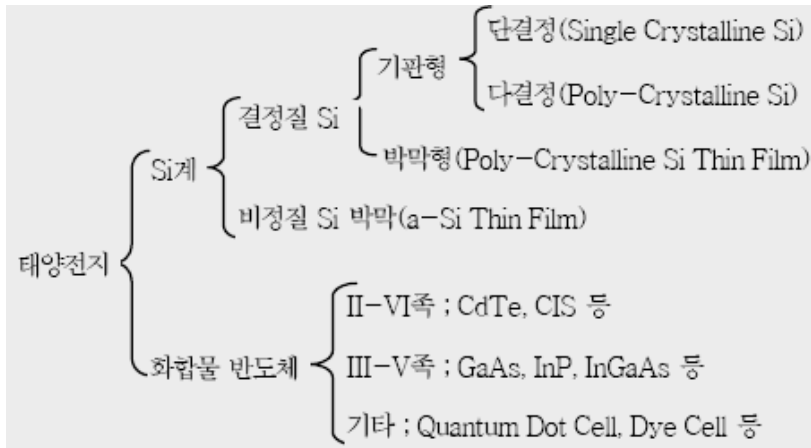


그림 1. 일반적인 태양전지의 분류

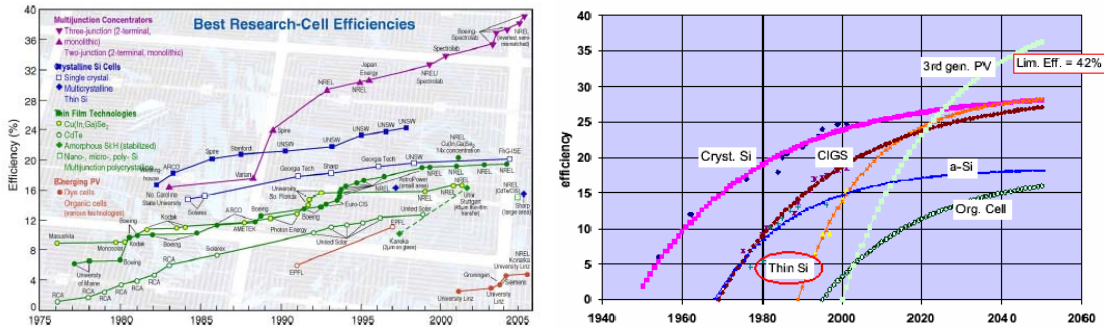


그림 2. 태양전지 기술별 최대효율을 기록한 연구 그룹과 동향 및 예상 효율

## 2. 태양전지의 작동원리와 종류

태양전지란 태양광 에너지를 직접 전기에너지로 변화시키는 반도체 소자로써 p형의 반도체와 n형 반도체의 접합형태를 가지며 그 기본구조는 다이오드와 동일하다. 그림 3은 태양전지의 기본 구조와 동작원리를 나타낸 것이다. 태양전지의 구조는 간단히 n형 반도체와 p형 반도체로 이루어진 p-n 접합 구조로 구성되며, 외부에서 빛이 태양전지에 입사되었을 때 p형 반도체의 전도대 전자는 입사된 광에너지에 의해 가전자대로 여기된다. 이렇게 여기된 전자는 p형 반도체 내부에 한 개의 전자-정공쌍을 생성하게 된다. 이렇게 발생된 전자-정공쌍 중 전자는 p-n 접합 사이에 존재하는 전기장에 의해 n형 반도체로 넘어가게 되어 외부에 전류를 공급하게 된다. 여기서 전기장은 p형 반도체와 n형 반도체를 서로 결합시켜 접합을 만들면 n형 반도체에 존재하는 과잉전자는 p형 반도체로, p형 반도체에 존재하는 과잉 정공은 n형 반도체로 확산하게 되며, 확산된 전자-정공의 빈자리는 양이온-음이온을 각각 띄게 된다. 이때 접합 부근에 건전지처럼 양이온에서 음이온으로 전압이 발생하게 되는데 이렇게 발생된 전압차를 뜻한다. 태양전지에서 전기장은 태양광에 의해서 발생된 전자 혹은 정공을 다른 쪽으로 이동시켜 전류를 생성시키는 역할을 한다.

일반적으로 태양전지는 구성하는 물질에 따라 실리콘, 화합물반도체와 같은 무기재료로 이루어진 무기태양전지와 유기소재를 중심으로 제작되어진 유기태양전지로 나눌 수 있다. 그림 4에서는 일반적인 유기 태양전지 및 무기재료를 이용한 태양전지의 구조를 나타내었다.

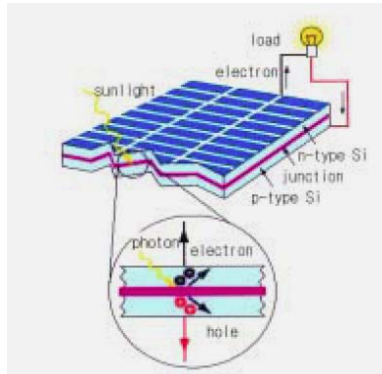
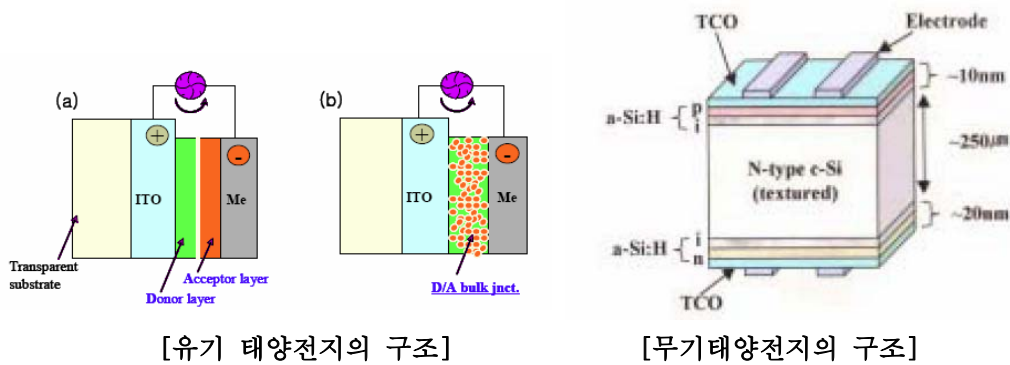


그림 3. 태양전지의 기본 구조와 동작원리



[유기 태양전지의 구조]

[무기태양전지의 구조]

그림 4. 소재별 태양전지의 구조 비교

유기태양전지의 경우 전자주게 (electron donor) 특성과 전자받게 (electron acceptor) 특성을 갖는 유기물질로 구성되어 있으며 유기 분자로 이루어진 태양전지가 빛을 흡수하면 전자와 홀이 형성되어 exciton을 생산할 수 있다. 이 exciton이 전자주게와 받게의 계면으로 이동하여 전하가 분리되어 광전류를 발생하게 된다.

### 3. 염료감응형 태양전지

일반적인 반도체 접합 태양전지의 원리와 달리 염료감응형 태양전지는 염료 분자가 화학적으로 흡착된 나노입자 반도체 산화물 전극에 광을 조사함으로써 exciton을 형성하고 이중 전자가 반도체 산화물의 전도띠로 주입되어 전류를 발생시키는 원리를 이용하고 있다. 다

음 그림 5에 염료감응형 태양전지의 구조 및 가장 높은 효율을 나타내는 루테늄계 염료의 구조를 나타내었으며 그림 6에서는 작동 원리를 설명하였다.

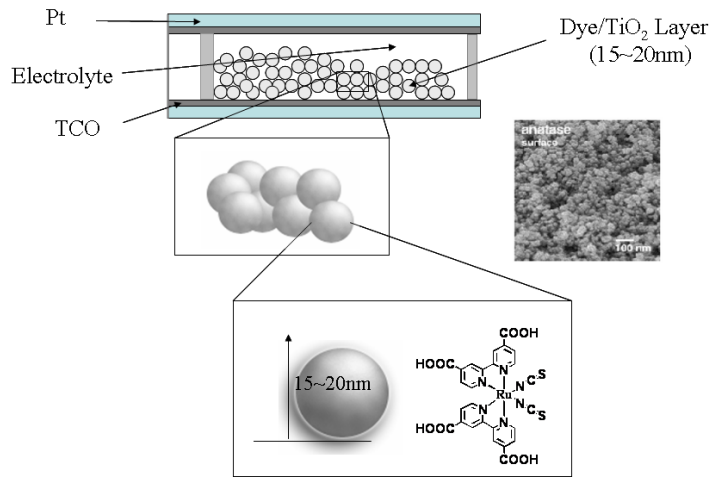


그림 5. 염료감응형 태양전지 (dye-sensitized solar cell) 의 구조 및 루테늄계 염료 구조

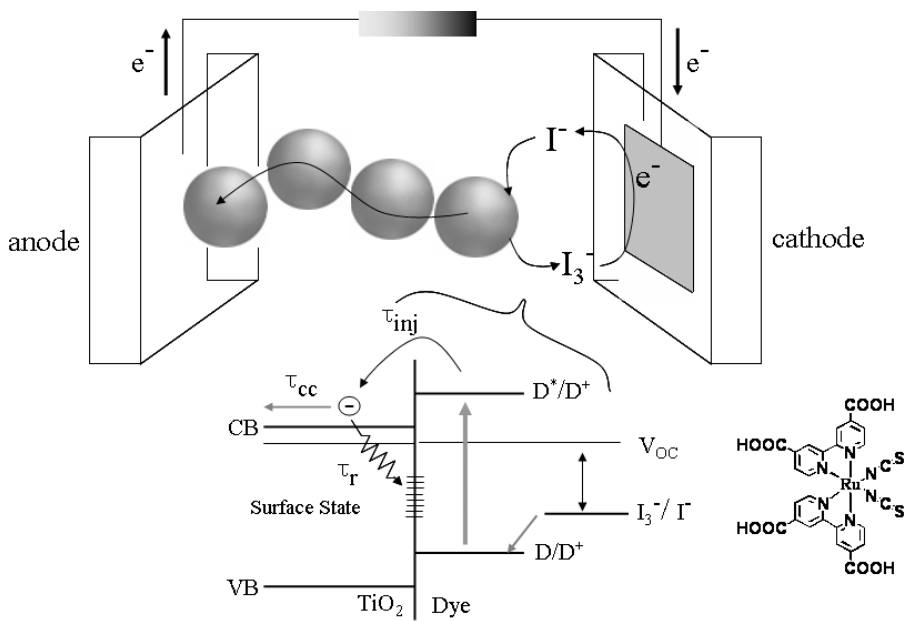


그림 6. 염료감응형 태양전지의 작동 원리

#### 4. 염료감응형 태양전지에 사용가능한 염료 구조

염료감응형 태양전지의 가장 중요한 요소인 염료의 경우 빛 에너지를 흡수하여 바닥 상태(ground state)에서 들뜬상태(excited state)로 전이( $d \rightarrow \pi^*$  transition) 함으로써 저자 주입 역할을 수행하게 된다. 염료감응 태양전지용 염료가 갖추어야 할 조건은 첫째 가시광 선 전영역의 빛을 흡수할 수 있어야 하며, 둘째 나노산화물 표면과 견고한 화학결합을 이루 고 있어야 하며, 셋째 열 및 광학적 안정성을 지니고 있어야 한다. 지금까지 알려진 염료 중 에는 루테늄계 유기금속화합물이 가장 우수한 것으로 보고되고 있다. 이는 루테늄계 염료의 경우 단일항 들뜬상태 (nonthermalized singlet excited state,  $S^*$ )와 삼중항 들뜬상태 (triplet excited state,  $T^*$ )로 부터 반도체 전도띠로 전자를 주입할 수 있어 높은 효율을 이룰 수 있기 때문이다. 현재는 루테늄과 같은 금속이온을 함유하지 않은 순수 유기물 염료에 대한 합성 및 광전변환 특성에 관한 연구를 하고 있으며, 쿠마린계 물질의 유도체를 합성하고 염료 감응 태양전지용 염료로 응용한 결과 약 5.2%의 에너지변환 효율을 보여주는 등 다양한 연구 결과가 보고되고 있다.

다음 그림 7에서는 염료 감응형 태양전지에 이용될 수 있는 다양한 염료의 구조를 표시하였다. 최근에는 인돌계 유기물질을 염료로 사용하여 에너지변환 효율 8%를 달성하였다. 현재는 순수 유기물질을 사용하는 경우 빛과 열에 불안정한 것이 시급히 해결해야 할 과제로 대두되고 있으나, 빛과 열에 대한 안정성이 확보될 경우 가격 측면에서 경쟁력이 우수한 소재가 될 수 있다.

#### 5. 결론

염료감응 태양전지는 기존 실리콘 태양전지에 비하여 가격이 저렴하기 때문에 가격 경쟁력이 우수하며, 투명하면서 다양한 색상 구현이 가능하기 때문에 다양한 응용성이 기대되는 기술이다. 이에 대한 상용화는 유럽 (INAP, Fraunhofer 연구소, Solaronix, ECN 등)과 일본 (2010년 이내에 염료감응 태양전지의 실용화), 미국 (Konarka)을 중심으로 이미 국가적인 지원 아래 추진되고 있으나 국내의 경우 탐색연구가 시작된 상태에 있다. 따라서 시급한 인프라의 구축과 적극적인 연구개발 활동 및 이에 대한 국가적인 지원이 필요한 분야라 판단된다.

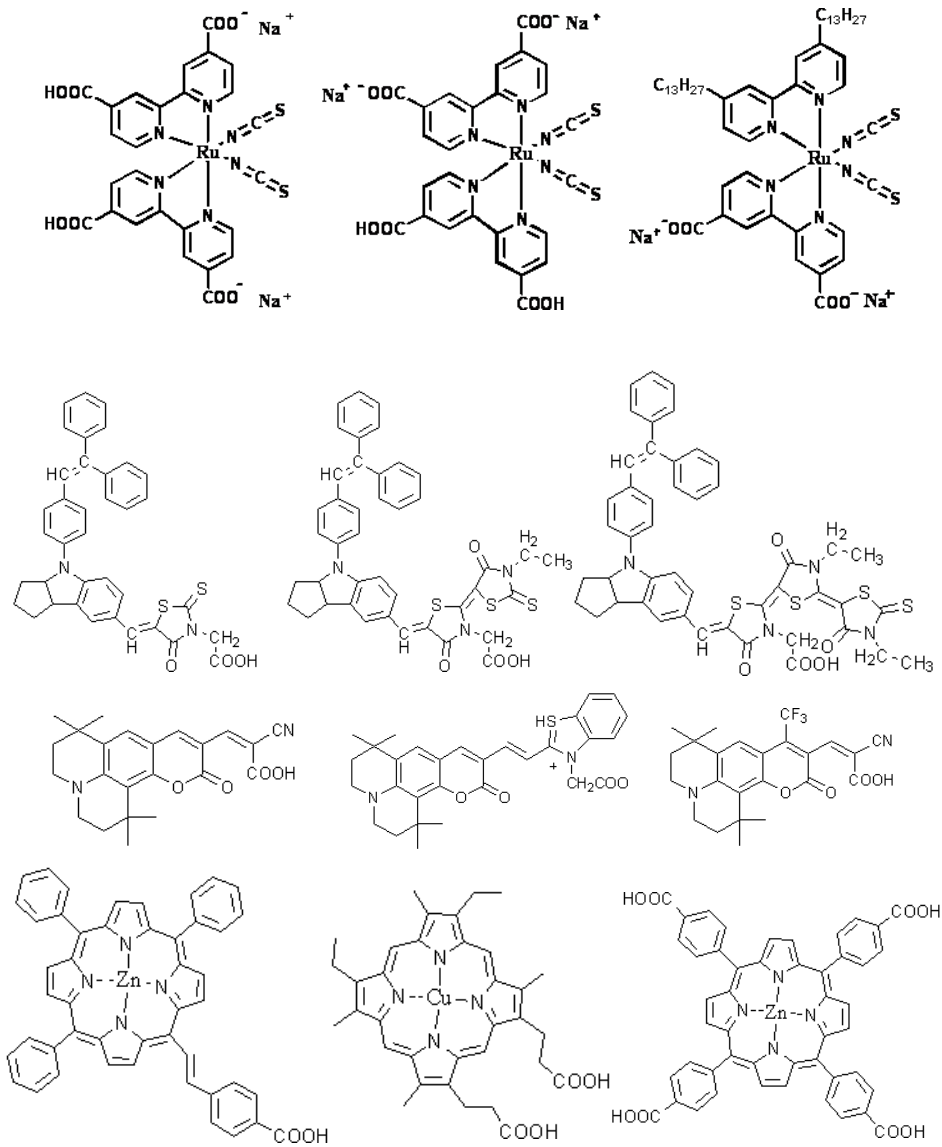


그림 7. 염료감응형 태양전지에 이용될 수 있는 다양한 염료의 구조